

縮退 p 型 CVD ダイヤモンド層の分離孤立化に基づくホウ素アクセプタの実効的活性化エネルギーの低減

Reduce in effective activation energy of doped boron acceptors
by separating and isolating heavily doped degenerate p-type diamond layers

大阪大学大学院工学研究科 ○市川 大地, 毎田 修, 伊藤 利道

Graduate School of Eng., Osaka Univ., ○Daichi Ichikawa, Osamu Maida, Toshimichi Ito
E-mail: d.ichikawa@daiyan.eei.eng.osaka-u.ac.jp

1. はじめに

物性的に優れた性質を多く有するダイヤモンドは、p 型ドーパントであるホウ素のアクセプタ準位が 0.37 eV と深いため、室温でのデバイス動作を前提にする場合、その活性化エネルギーの低減が求められる。ダイヤモンドの場合、高濃度ホウ素ドーパにより活性化エネルギーは低下するものの、著しいキャリア移動度の低下が避けられない¹⁾。そこで、移動度の低下を抑制した実効的アクセプタ準位の低減方法を検討した結果、高濃度ホウ素ドーパした縮退 p 型ダイヤモンド層のナノサイズ化と分離・孤立化が、アクセプタの実効的活性化エネルギーの低減に有効であることを報告している²⁾。

本研究では、縮退 p 型層の分離・孤立化方法の相違について検討することを目的とする。

2. 実験

本研究では、高品質性が期待できる(001)微斜面 HPHT (高温高压合成) ダイヤモンド基板を使用した。〈110〉方向に 5°オフした HPHT Ib 基板上に、一旦高出力マイクロ波プラズマ(MWP) CVD 法によりアンドープ層をホモエピした後、石英管型反応容器を用いた MWPCVD 法により高濃度ホウ素ドーパダイヤモンド薄膜層をホモエピ成長させた³⁾。ドーピングガスには水素希釈した B(CH₃)₃ を用いた。B/C 比は 100 ppm または 8000 ppm とし、成長時間を変えた試料を作製した。その後、各試料に 4 つのオーミック電極を形成し、van der Pauw 法に基づいて解析する AC Hall 測定装置を用いて、100 ~ 670 K の温度範囲における電気的特性を評価した。次に、フォトリソプロセスにより Au マスクを作製し、ECR 酸素プラズマエッチングにより高濃度ホウ素ドーパ層を μm スケールで分離・孤立化した後、再び電気特性評価を行った。

3. 結果及び考察

高濃度ホウ素ドーパダイヤモンドを μm オーダーで相互に分離した試料におけるシートホール係数の温度依存性(Fig.1) から活性化エネルギーを求めた。その際、分離・孤立化していることを考慮して、キャリアは価電子帯を移動する 1 種類のみと考え、シングルキャリアを用いた輸送モデル (single-carrier model) でフィッティングを行った (Fig.1 の直線部分)。この時、温度範囲は $N_D \gg N_V/g_A \exp(-E_A/k_B T)$ の条件が十分成立する範囲とした。ただし、 N_D : ドナー密度、 N_V : 価電子帯の有効状態密度、 g_A : 縮重因子、 E_A : 活性化エネ

ルギー、 k_B : ボルツマン定数、 T : 絶対温度である。フィッティングにより得られた活性化エネルギーは、高濃度ホウ素ドーパ層の膜厚が 133 nm と 234 nm の 2 試料に対して、それぞれ 0.13 eV、0.12 eV となり、低濃度ホウ素ドーパ試料のアクセプタ準位である 0.37 eV の半分以下の値が得られた。

また、両試料のシートホール係数の温度依存性において、いずれも低温側で飽和現象が観測された (Fig. 1)。これは、輸送を担うキャリアが、無数の分離・孤立化された高濃度ホウ素ドーパ領域では不純物バンド⁴⁾を移動し、それらの間では、各高濃度領域に接するアンドープ層の価電子帯を移動する成分が支配的になること、及び、そのキャリアは温度にあまり関係なく金属的縮退領域からアンドープ層にしみ出すことを示している。

更に、縮退 p 型ホウ素ドーパ層を分離・孤立化した後のシート抵抗の温度依存性についても、上記の構造を反映させた 3 成分を考慮しフィッティングを行った。詳細は当日報告する。

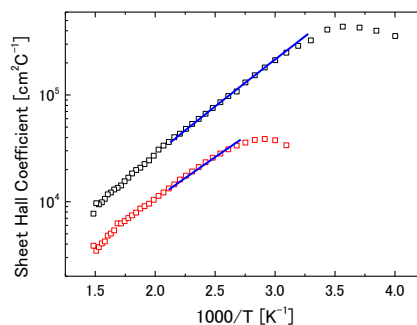


Fig. 1. Temperature dependence of sheet Hall coefficients for two samples having innumerable separated and isolated degenerate regions. These regions were fabricated with thin heavily boron-doped layers having different thicknesses of 133 nm (■) and 234 nm (■). Each curve (line) is obtained by fitting the corresponding experimental data with single-carrier model.

謝辞

本研究の一部は、科学研究費補助金 (基盤研究 (A) 21216011) の助成により行われた。

参考文献

- 1) C. L. Wang et al.: Jpn. J. Appl. Phys. **40** (2001) 4145.
- 2) 青野, 毎田, 伊藤: 第 71 回応用物理学会学術講演会, 講演番号 15a-ND-11, 2010.9
- 3) 市川, 毎田, 伊藤: 第 73 回応用物理学会学術講演会, 講演番号 13a-PB2-4, 2012.9
- 4) M. Aono, O. Maida and T. Ito: Diamond Relat. Mater. **20** (2011) 1357.